



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑯ Patentschrift  
⑯ DE 196 54 210 C 2

⑯ Int. Cl. 6:  
G 02 B 26/10  
G 02 B 21/00

DE 196 54 210 C 2

⑯ Aktenzeichen: 196 54 210.3-51  
⑯ Anmeldetag: 24. 12. 96  
⑯ Offenlegungstag: 25. 6. 98  
⑯ Veröffentlichungstag der Patenterteilung: 9. 12. 99

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑯ Patentinhaber:

Leica Microsystems Heidelberg GmbH, 69120  
Heidelberg, DE

⑯ Erfinder:

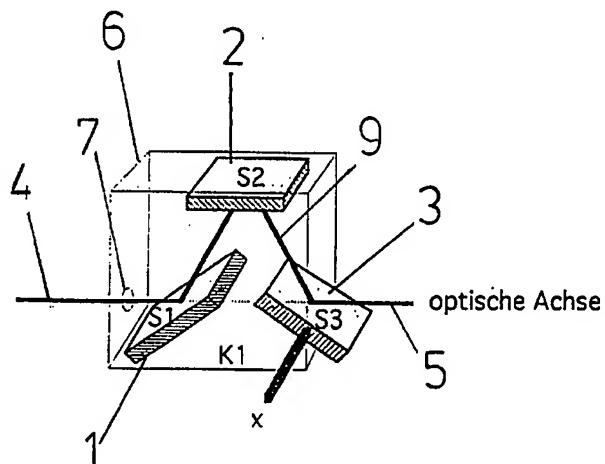
Engelhardt, Johann, Dr., 76669 Bad Schönborn, DE;  
Ulrich, Heinrich, Dr., 69121 Heidelberg, DE

⑯ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE 43 22 694 A1  
"Two-axisbeam steering system, TABS" Jean  
Montagn,  
Proceedings Reprint, The international Society  
of Optical Engineering Vol. 1920, 1993;  
A laser flying Spot scanner for use in automated  
fluorescence antibody instrumentation Stombada  
A.F., Journal of the Associations for the  
Advancement of Medical Instrumentation 1972  
Vol. 6, No. 3, May-June, S. 230 ff.;

⑯ Optische Anordnung zum Scannen eines Strahls in zwei im wesentlichen senkrecht zueinander liegenden Achsen

⑯ Optische Anordnung zum Scannen eines Strahls in zwei im wesentlichen senkrecht zueinander liegenden Achsen, insbesondere zur Anwendung bei konfokalen Laserscanmikroskopen, mit zwei mittels jeweils eines Antriebs um senkrecht zueinander liegende Achsen – x-Achse und y-Achse – drehbaren Spiegeln (1, 3), dadurch gekennzeichnet, daß einem der beiden Spiegel (1, 3) ein weiterer Spiegel (2) in einer vorgegebenen Winkelposition drehfest zugeordnet ist, so daß die einander zugeordneten Spiegel (1, 2) – erster und zweiter Spiegel – gemeinsam um die y-Achse drehen und dabei den Strahl (4) um einen Drehpunkt drehen, der auf der Drehachse – x-Achse – des alleine drehenden dritten Spiegels (3) liegt.



DE 196 54 210 C 2

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine optische Anordnung zum Scannen eines Strahls in zwei im wesentlichen senkrecht zueinander liegenden Achsen, insbesondere zur Anwendung bei konfokalen Laserscanmikroskopen, mit zwei mittels jeweils eines Antriebs um senkrecht zueinander liegende Achsen – x-Achse und y-Achse – drehbaren Spiegeln.

Grundsätzlich handelt es sich hier um eine Anordnung zum Scannen eines Strahls in zwei im wesentlichen senkrecht zueinander liegenden Achsen, wobei es hier darauf ankommt, den Lichtstrahl in beiden Achsen um die Pupille des Objektivs oder einer dazu konjugierten Ebene zu drehen.

Aus der Praxis sind bereits unterschiedlichste Ausführungsformen eines xy-Scanners bekannt. Aus dem Paper von Jean Montagu "Two-axis beam steering system, TABS" Proceedings Reprint, SPI – The International Society for Optical Engineering, Vol. 1920, 1993 (reprinted from Smart Structures and Materials 1993 "Active and Adaptive Optical Components and Systems II, 1–4 February 1993, Albuquerque, New Mexico) sind unterschiedliche Scanner bekannt.

Bei dem Einspiegelscanner ist ein einziger, um eine Achse drehender Spiegel vorgesehen, wobei die Drehachse des Spiegels nicht der optischen Achse entspricht. Einspiegelscanner umfassen in der Regel einen kardanisch aufgehängten Spiegel zum Scannen sowohl in x- als auch in y-Richtung. Aufgrund des hier lediglich singulären Spiegels werden zwar Lichtverluste durch mehrere Spiegel minimiert, dafür muß jedoch der x-Galvanometer stets mitbewegt werden, d. h. dessen Masse muß beschleunigt und abgebremst werden. Dies limitiert die Bildrate auf ca. zehn Bilder pro Sekunde, und zwar wegen der ansonsten zu großen Schwingungseinträge in das Mikroskopssystem. Außerdem kann ein resonanter Scanner wegen des dafür notwendigen stehenden Einbaus nicht verwendet werden.

Beim Zweispiegelscanner sind zwei unter einem vorgegebenen Winkel zueinander angeordnete Spiegel vorgesehen, die üblicherweise um orthogonal zueinander angeordnete Drehachsen drehen. Eine solche Anordnung ist jedoch nicht zwingend erforderlich. Der einfallende Strahl verläuft auf jeden Fall parallel zu der Drehachse des im Strahlengang letzten Spiegels.

Des Weiteren sind sog. Paddle-Scanner und Golf-Club-Scanner als besondere Ausführungsformen des Zweispiegelscanners bekannt. Bei diesen Scannern wird die Drehung des Strahls um einen virtuellen Drehpunkt lediglich näherungsweise erreicht, was grundsätzlich zu Abbildungsfehlern führt.

Gemäß Slomba A. F. "A laser flying spot scanner for use in automated fluorescence antibody instrumentation" (Journal of the Association for the Advancement of Medical Instrumentation) 1972, Vol. 6 No. 3 May-June, Seite 230 ff. sind ebenfalls Spiegelscanner unter dem Gesichtspunkt der Anwendung in der Fluoreszenzmikroskopie sowie in der Konfokalmikroskopie bekannt. Hierauf sei lediglich ergänzend hingewiesen.

Die zuvor erörterten bekannten optischen Anordnungen zum Scannen eines Strahls in zwei im wesentlichen senkrecht zueinander liegenden Achsen sind in der Praxis aus den unterschiedlichsten Gründen problematisch. Im Vordergrund stehen hier sicherlich erhebliche Abbildungsfehler sowie die weiterreichende Problematik dahingehend, daß zu mindest einer der Antriebe stets mitbewegt werden muß, was zu einer ganz erheblichen Begrenzung der Bildrate führt. Jedenfalls erreichen die bekannten Zweispiegelanordnungen eine Drehung des Strahls um einen virtuellen Drehpunkt nur annäherungsweise, wodurch bei diesen Scannern ganz erhebliche Abbildungsfehler entstehen.

Aus der DE 43 22 694 A1 ist für sich gesehen eine optische Anordnung zum Scannen eines Strahls bei einem konfokalen Laserscanmikroskop bekannt. Zwei in x- und in y-Achsenrichtung angetriebenen Spiegeln ist ein weiterer dritter Spiegel zugeordnet, der eine zusätzliche Ablenkung des Strahls bewirkt. Die dort vorgesehenen Spiegel drehen unabhängig voneinander und sind auch unabhängig voneinander justierbar, wodurch sich ein ganz erheblicher Aufwand in der Justage ergibt.

10 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine optische Anordnung zum Scannen eines Strahls in zwei im wesentlichen senkrecht zueinander liegenden Achsen anzugeben, wonach gravierende Abbildungsfehler vermieden sind, wonach eine hohe Bildrate für Real-Time-Anwendungen, d. h. für übliche Videogeschwindigkeit, möglich ist und wonach sich das Bild insbesondere bei der Konfokalmikroskopie leicht einstellen bzw. zentrieren läßt.

Die erfindungsgemäße Anordnung zum Scannen eines Strahls in zwei im wesentlichen senkrecht zueinander liegenden Achsen löst die voranstehende Aufgabe durch die Merkmale des Patentanspruches 1. Danach ist die eingangs genannte optische Anordnung – Zweispiegelscanner – dadurch ergänzt, daß einem der beiden Spiegel ein weiterer Spiegel in einer vorgegebenen Winkelposition drehfest zugeordnet ist, so daß die einander zugeordneten Spiegel – erster und zweiter Spiegel – gemeinsam um die y-Achse drehen und dabei den Strahl um einen Drehpunkt drehen, der auf der Drehachse – x-Achse – des alleine drehenden dritten Spiegels liegt.

20 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100 105 110 115 120 125 130 135 140 145 150 155 160 165 170 175 180 185 190 195 200 205 210 215 220 225 230 235 240 245 250 255 260 265 270 275 280 285 290 295 300 305 310 315 320 325 330 335 340 345 350 355 360 365 370 375 380 385 390 395 400 405 410 415 420 425 430 435 440 445 450 455 460 465 470 475 480 485 490 495 500 505 510 515 520 525 530 535 540 545 550 555 560 565 570 575 580 585 590 595 600 605 610 615 620 625 630 635 640 645 650 655 660 665 670 675 680 685 690 695 700 705 710 715 720 725 730 735 740 745 750 755 760 765 770 775 780 785 790 795 800 805 810 815 820 825 830 835 840 845 850 855 860 865 870 875 880 885 890 895 900 905 910 915 920 925 930 935 940 945 950 955 960 965 970 975 980 985 990 995 1000 1005 1010 1015 1020 1025 1030 1035 1040 1045 1050 1055 1060 1065 1070 1075 1080 1085 1090 1095 1100 1105 1110 1115 1120 1125 1130 1135 1140 1145 1150 1155 1160 1165 1170 1175 1180 1185 1190 1195 1200 1205 1210 1215 1220 1225 1230 1235 1240 1245 1250 1255 1260 1265 1270 1275 1280 1285 1290 1295 1300 1305 1310 1315 1320 1325 1330 1335 1340 1345 1350 1355 1360 1365 1370 1375 1380 1385 1390 1395 1400 1405 1410 1415 1420 1425 1430 1435 1440 1445 1450 1455 1460 1465 1470 1475 1480 1485 1490 1495 1500 1505 1510 1515 1520 1525 1530 1535 1540 1545 1550 1555 1560 1565 1570 1575 1580 1585 1590 1595 1600 1605 1610 1615 1620 1625 1630 1635 1640 1645 1650 1655 1660 1665 1670 1675 1680 1685 1690 1695 1700 1705 1710 1715 1720 1725 1730 1735 1740 1745 1750 1755 1760 1765 1770 1775 1780 1785 1790 1795 1800 1805 1810 1815 1820 1825 1830 1835 1840 1845 1850 1855 1860 1865 1870 1875 1880 1885 1890 1895 1900 1905 1910 1915 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015 2020 2025 2030 2035 2040 2045 2050 2055 2060 2065 2070 2075 2080 2085 2090 2095 2100 2105 2110 2115 2120 2125 2130 2135 2140 2145 2150 2155 2160 2165 2170 2175 2180 2185 2190 2195 2200 2205 2210 2215 2220 2225 2230 2235 2240 2245 2250 2255 2260 2265 2270 2275 2280 2285 2290 2295 2300 2305 2310 2315 2320 2325 2330 2335 2340 2345 2350 2355 2360 2365 2370 2375 2380 2385 2390 2395 2400 2405 2410 2415 2420 2425 2430 2435 2440 2445 2450 2455 2460 2465 2470 2475 2480 2485 2490 2495 2500 2505 2510 2515 2520 2525 2530 2535 2540 2545 2550 2555 2560 2565 2570 2575 2580 2585 2590 2595 2600 2605 2610 2615 2620 2625 2630 2635 2640 2645 2650 2655 2660 2665 2670 2675 2680 2685 2690 2695 2700 2705 2710 2715 2720 2725 2730 2735 2740 2745 2750 2755 2760 2765 2770 2775 2780 2785 2790 2795 2800 2805 2810 2815 2820 2825 2830 2835 2840 2845 2850 2855 2860 2865 2870 2875 2880 2885 2890 2895 2900 2905 2910 2915 2920 2925 2930 2935 2940 2945 2950 2955 2960 2965 2970 2975 2980 2985 2990 2995 3000 3005 3010 3015 3020 3025 3030 3035 3040 3045 3050 3055 3060 3065 3070 3075 3080 3085 3090 3095 3100 3105 3110 3115 3120 3125 3130 3135 3140 3145 3150 3155 3160 3165 3170 3175 3180 3185 3190 3195 3200 3205 3210 3215 3220 3225 3230 3235 3240 3245 3250 3255 3260 3265 3270 3275 3280 3285 3290 3295 3300 3305 3310 3315 3320 3325 3330 3335 3340 3345 3350 3355 3360 3365 3370 3375 3380 3385 3390 3395 3400 3405 3410 3415 3420 3425 3430 3435 3440 3445 3450 3455 3460 3465 3470 3475 3480 3485 3490 3495 3500 3505 3510 3515 3520 3525 3530 3535 3540 3545 3550 3555 3560 3565 3570 3575 3580 3585 3590 3595 3600 3605 3610 3615 3620 3625 3630 3635 3640 3645 3650 3655 3660 3665 3670 3675 3680 3685 3690 3695 3700 3705 3710 3715 3720 3725 3730 3735 3740 3745 3750 3755 3760 3765 3770 3775 3780 3785 3790 3795 3800 3805 3810 3815 3820 3825 3830 3835 3840 3845 3850 3855 3860 3865 3870 3875 3880 3885 3890 3895 3900 3905 3910 3915 3920 3925 3930 3935 3940 3945 3950 3955 3960 3965 3970 3975 3980 3985 3990 3995 4000 4005 4010 4015 4020 4025 4030 4035 4040 4045 4050 4055 4060 4065 4070 4075 4080 4085 4090 4095 4100 4105 4110 4115 4120 4125 4130 4135 4140 4145 4150 4155 4160 4165 4170 4175 4180 4185 4190 4195 4200 4205 4210 4215 4220 4225 4230 4235 4240 4245 4250 4255 4260 4265 4270 4275 4280 4285 4290 4295 4300 4305 4310 4315 4320 4325 4330 4335 4340 4345 4350 4355 4360 4365 4370 4375 4380 4385 4390 4395 4400 4405 4410 4415 4420 4425 4430 4435 4440 4445 4450 4455 4460 4465 4470 4475 4480 4485 4490 4495 4500 4505 4510 4515 4520 4525 4530 4535 4540 4545 4550 4555 4560 4565 4570 4575 4580 4585 4590 4595 4600 4605 4610 4615 4620 4625 4630 4635 4640 4645 4650 4655 4660 4665 4670 4675 4680 4685 4690 4695 4700 4705 4710 4715 4720 4725 4730 4735 4740 4745 4750 4755 4760 4765 4770 4775 4780 4785 4790 4795 4800 4805 4810 4815 4820 4825 4830 4835 4840 4845 4850 4855 4860 4865 4870 4875 4880 4885 4890 4895 4900 4905 4910 4915 4920 4925 4930 4935 4940 4945 4950 4955 4960 4965 4970 4975 4980 4985 4990 4995 5000 5005 5010 5015 5020 5025 5030 5035 5040 5045 5050 5055 5060 5065 5070 5075 5080 5085 5090 5095 5100 5105 5110 5115 5120 5125 5130 5135 5140 5145 5150 5155 5160 5165 5170 5175 5180 5185 5190 5195 5200 5205 5210 5215 5220 5225 5230 5235 5240 5245 5250 5255 5260 5265 5270 5275 5280 5285 5290 5295 5300 5305 5310 5315 5320 5325 5330 5335 5340 5345 5350 5355 5360 5365 5370 5375 5380 5385 5390 5395 5400 5405 5410 5415 5420 5425 5430 5435 5440 5445 5450 5455 5460 5465 5470 5475 5480 5485 5490 5495 5500 5505 5510 5515 5520 5525 5530 5535 5540 5545 5550 5555 5560 5565 5570 5575 5580 5585 5590 5595 5600 5605 5610 5615 5620 5625 5630 5635 5640 5645 5650 5655 5660 5665 5670 5675 5680 5685 5690 5695 5700 5705 5710 5715 5720 5725 5730 5735 5740 5745 5750 5755 5760 5765 5770 5775 5780 5785 5790 5795 5800 5805 5810 5815 5820 5825 5830 5835 5840 5845 5850 5855 5860 5865 5870 5875 5880 5885 5890 5895 5900 5905 5910 5915 5920 5925 5930 5935 5940 5945 5950 5955 5960 5965 5970 5975 5980 5985 5990 5995 6000 6005 6010 6015 6020 6025 6030 6035 6040 6045 6050 6055 6060 6065 6070 6075 6080 6085 6090 6095 6100 6105 6110 6115 6120 6125 6130 6135 6140 6145 6150 6155 6160 6165 6170 6175 6180 6185 6190 6195 6200 6205 6210 6215 6220 6225 6230 6235 6240 6245 6250 6255 6260 6265 6270 6275 6280 6285 6290 6295 6300 6305 6310 6315 6320 6325 6330 6335 6340 6345 6350 6355 6360 6365 6370 6375 6380 6385 6390 6395 6400 6405 6410 6415 6420 6425 6430 6435 6440 6445 6450 6455 6460 6465 6470 6475 6480 6485 6490 6495 6500 6505 6510 6515 6520 6525 6530 6535 6540 6545 6550 6555 6560 6565 6570 6575 6580 6585 6590 6595 6600 6605 6610 6615 6620 6625 6630 6635 6640 6645 6650 6655 6660 6665 6670 6675 6680 6685 6690 6695 6700 6705 6710 6715 6720 6725 6730 6735 6740 6745 6750 6755 6760 6765 6770 6775 6780 6785 6790 6795 6800 6805 6810 6815 6820 6825 6830 6835 6840 6845 6850 6855 6860 6865 6870 6875 6880 6885 6890 6895 6900 6905 6910 6915 6920 6925 6930 6935 6940 6945 6950 6955 6960 6965 6970 6975 6980 6985 6990 6995 7000 7005 7010 7015 7020 7025 7030 7035 7040 7045 7050 7055 7060 7065 7070 7075 7080 7085 7090 7095 7100 7105 7110 7115 7120 7125 7130 7135 7140 7145 7150 7155 7160 7165 7170 7175 7180 7185 7190 7195 7200 7205 7210 7215 7220 7225 7230 7235 7240 7245 7250 7255 7260 7265 7270 7275 7280 7285 7290 7295 7300 7305 7310 7315 7320 7325 7330 7335 7340 7345 7350 7355 7360 7365 7370 7375 7380 7385 7390 7395 7400 7405 7410 7415 7420 7425 7430 7435 7440 7445 7450 7455 7460 7465 7470 7475 7480 7485 7490 7495 7500 7505 7510 7515 7520 7525 7530 7535 7540 7545 7550 7555 7560 7565 7570 7575 7580 7585 7590 7595 7600 7605 7610 7615 7620 7625 7630 7635 7640 7645 7650 7655 7660 7665 7670 7675 7680 7685 7690 7695 7700 7705 7710 7715 7720 7725 7730 7735 7740 7745 7750 7755 7760 7765 7770 7775 7780 7785 7790 7795 7800 7805 7810 7815 7820 7825 7830 7835 7840 7845 7850 7855 7860 7865 7870 7875 7880 7885 7890 7895 7900 7905 7910 7915 7920 7925 7930 7935 7940 7945 7950 7955 7960 7965 7970 7975 7980 7985 7990 7995 8000 8005 8010 8015 8020 8025 8030 8035 8040 8045 8050 8055 8060 8065 8070 8075 8080 8085 8090 8095 8100 8105 8110 8115 8120 8125 8130 8135 8140 8145 8150 8155 8160 8165 8170 8175 8180 8185 8190 8195 8200 8205 8210 8215 8220 8225 8230 8235 8240 8245 8250 8255 8260 8265 8270 8275 8280 8285 8290 8295 8300 8305 8310 8315 8320 8325 8330 8335 8340 8345 8350 8355 8360 8365 8370 8375 8380 8385 8390 8395 8400 8405 8410 8415 8420 8425 8430 8435 8440 8445 8450 8455 8460 8465 8470 8475 8480 8485 8490 8495 8500 8505 8510 8515 8520 8525 8530 8535 8540 8545 8550 8555 8560 8565 8570 8575 8580 8585 8590 8595 8600 8605 8610 8615 8620 8625 8630 8635 8640 8645 8650 8655 8660 8665 8670 8675 8680 8685 8690 8695 8700 8705 8710 8715 8720 8725 8730 8735 8740 8745 8750 8755 8760 8765 8770 8775 8780 8785 8790 8795 8800 8805 8810 8815 8820 8825 8830 8835 8840 8845 8850 8855 8860 8865 8870 8875 8880 8885 8890 8895 8900 8905 8910 8915 8920 8925 8930 8935 8940 8945 8950 8955 8960 8965 8970 8975 8980 8985 8990 8995 9000 9005 9010 9015 9020 9025 9030 9035 9040 9045 9050 9055 9060 9065 9070 9075 9080 9085 9090 9095 9100 9105 9110 9115 9120 9125 9130 9135 9140 9145 9150 9155 9160 9165 9170 9175 9180 9185 9190 9195 9200 9205 9210 9215 9220 9225 9230 9235 9240 9245 9250 9255 9260 9265 9270 9275 9280 9285 9290 9295 9300 9305 9310 9315 9320 9325 9330 9335 9340 9345 9350 9355 9360 9365 9370 9375 9380 9385 9390 9395 9400 9405 9410 9415 9420 9425 9430 9435 9440 9445 9450 9455 9460 9465 9470 9475 9480 9485 9490 9495 9500 9505 9510 9515 9520 9525 9530 9535 9540 9545 9550 9555 9560 9565 9570 9575 9580 9585 9590 9595 9600 9605 9610 9615 9620 9625 9630 9635 9640 9645 9650 9655 9660 96

drehenden Spiegel – erster und zweiter Spiegel – dem allein drehenden dritten Spiegel im Strahlengang vorgeschaltet bzw. vorgeordnet. Der einfallende Strahl fällt auf den ersten der beiden einander zugeordneten Spiegel, und zwar in ganz besonders vorteilhafter Weise in deren gemeinsamer Drehachse – y-Achse.

Hinsichtlich einer kompakten Bauweise der optischen Anordnung ist es von Vorteil, wenn die beiden einander zugeordneten Spiegel auf einer drehbaren Aufnahme angeordnet sind, wobei die Winkelposition der beiden Spiegel zueinander und deren Abstand unveränderlich ist. Die gesamte Aufnahme ist um die optische Achse – y-Achse – des einfallenden Strahls drehbar.

Ebenso ist es möglich, die beiden einander zugeordneten Spiegel – statt auf einer einfachen Aufnahme – in einem Gehäuse anzuordnen, wobei insoweit ein Schutz der Spiegel gegeben wäre. Entsprechend der Ausgestaltung der zuvor erörterten Aufnahme würde das Gehäuse um die optische Achse – y-Achse – des einfallenden Strahls drehen.

Das Gehäuse weist des weiteren eine Eintrittsöffnung für den einfallenden Strahl auf, wobei der Strahl in der Drehachse des Gehäuses auf den ersten der beiden einander zugeordneten Spiegel trifft bzw. fällt und zum zweiten Spiegel reflektiert wird. Der dritte Spiegel könnte außerhalb des Gehäuses drehbar angeordnet sein. Im Rahmen einer ganz besonders vorteilhaften Ausgestaltung weist das Gehäuse jedoch eine Ausnehmung auf und ist das Gehäuse dieser Ausnehmung gegenüber zumindest teilweise offen. Der alleine drehende dritte Spiegel – x-Drehachse – ist vom Gehäuse unabhängig drehbar und dabei innerhalb der Ausnehmung des Gehäuses angeordnet.

Entsprechend der Anordnung der ersten beiden innerhalb des Gehäuses statt angeordneten Spiegel wird der Strahl vom zweiten Spiegel zur Ausnehmung des Gehäuses hin und reflektiert der dort angeordnete alleine drehende dritte Spiegel den auf dessen Spiegelfläche fallenden Strahl nach außerhalb des Gehäuses oder wieder in das Gehäuse zurück und durch eine besondere Austrittsöffnung aus dem Gehäuse heraus. Gemäß der voranstehend geschilderten Ausführung ist eine kompakte Bauweise innerhalb eines Gehäuses realisiert, wobei der dritte Spiegel im Bereich der Ausnehmung des Gehäuses quasi innerhalb des Gehäuses frei drehbar angeordnet ist. Letztendlich ist der dritte Spiegel durch das Gehäuse zumindest teilweise abgedeckt bzw. überdeckt und damit zumindest weitgehend geschützt.

Im Rahmen einer weiteren Ausführungsform könnte den beiden einander in der vorgegebenen Winkelposition drehfest zugeordneten, gemeinsam um die optische Achse drehenden Spiegeln – erster und zweiter Spiegel – und dem allein drehenden Spiegel – dritter Spiegel – ein weiteres Spiegelpaar nachgeordnet sein, wobei diesem weiteren Spiegelpaar zwei einander in einer vorgegebenen Winkelposition drehfest zugeordnete Spiegel – vierter und fünfter Spiegel – zugeordnet sind. Letztendlich wäre der vierte und der fünfte Spiegel ähnlich dem ersten und zweiten Spiegel fest einander zugordnet, und zwar in einer vorgegebenen Winkelposition der jeweiligen Spiegelflächen.

Die beiden weiteren Spiegel könnten auf einer um die optische Achse drehenden Aufnahme montiert sein, wie dies bei den ersten beiden Spiegeln der Fall sein kann. Der alleine um die x-Achse drehbare dritte Spiegel könnte dabei beweglich mit der zweiten Aufnahme verbunden sein, wobei dieser dritte Spiegel unabhängig von der zweiten Aufnahme um die x-Achse drehen kann, jedoch gemeinsam mit der zweiten Aufnahme um die y-Achse schwenkbar wäre.

Im Rahmen einer ganz besonders raffinierten Ausgestaltung wäre die erste Aufnahme auf der zweiten Aufnahme angeordnet und wäre mit dieser um die optische Achse dreh-

bar verbunden, wobei sich die von der zweiten Aufnahme unabhängige Drehbarkeit der ersten Aufnahme ebenfalls auf die y-Achse bzw. optische Achse bezieht.

Wie auch bereits bei der zuvor erörterten Dreispiegelanordnung können im Rahmen einer besonders kompakten Ausgestaltung die beiden einander zugeordneten weiteren Spiegel – vierter und fünfter Spiegel – in einem um die optische Achse – y-Achse – drehbaren zweiten Gehäuse angeordnet sein, wobei der alleine um die x-Achse drehbare dritte Spiegel beweglich in dem zweiten Gehäuse angeordnet ist. Das erste Gehäuse könnte wiederum in dem zweiten Gehäuse angeordnet und mit diesem um die optische Achse – y-Achse – drehbar verbunden sein. Die unabhängige Drehbarkeit des ersten Gehäuses bezieht sich jedenfalls ebenfalls auf die optische Achse bzw. y-Achse.

Bereits zuvor wurde mehrfach angedeutet, daß die Aufnahme bzw. das Gehäuse in der optischen Achse – y-Achse – des einfallenden Strahls dreht. Ebenso ist es möglich, daß der ausfallende Strahl in der optischen Achse des einfallenden Strahls liegt. Es wäre jedoch auch denkbar, den ausfallenden Strahl unter einem beliebigen Winkel zur optischen Achse des einfallenden Strahls auszurichten, so bspw. den ausfallenden Strahl in etwa orthogonal zum einfallenden Strahl zu führen.

Die Spiegel der zuvor erörterten Anordnung könnten im Rahmen einer besonders einfachen Ausgestaltung planar ausgebildete Spiegelflächen aufweisen. Ebenso wäre es jedoch auch denkbar, die Spiegel mit einer zumindest geringförmig gewölbten Spiegelfläche auszustatten, wobei die Wölbung der Spiegelfläche zur Abbildung bzw. Korrektur von Abbildungsfehlern herangezogen werden kann.

Ein ganz besonderer Vorteil der erfindungsgemäßen Verrichtung ist darin zu sehen, daß sich die Antriebe für die Drehbewegung der Spiegel bzw. der Aufnahmen oder der Gehäuse von diesen Bauteilen zumindest in konstruktiver bzw. körperlicher Hinsicht entkoppeln lassen. In vorteilhafter Weise sind nämlich die Antriebe ortsfest angeordnet, müssen demnach in keiner Weise mitbewegt werden. Insoweit lassen sich als Antriebe problemlos Galvanometer, insbesondere auch resonante Galvanometer mit hohen Frequenzen verwenden, ohne zu große Schwingungseinträge in das Mikroskopssystem hervorzurufen. Letztendlich lassen sich insoweit große Bildraten erzeugen, die eine Echtzeitverarbeitung ermöglichen.

Im Rahmen der Verwendung von Galvanometern als Antriebe ist es von weiterem Vorteil, wenn die um die y-Achse drehenden Spiegel von einem Galvanometer und der um die x-Achse drehende Spiegel von einem resonanten Galvanometer mit hoher Frequenz drehangetrieben sind. Ebenso ist es jedoch auch denkbar, als Antrieb einen Stepper-Motor bzw. Schrittmotor vorzusehen.

Die Drehbarkeit der Spiegel kann beliebig ausgeführt werden, wobei es hinreichend ist, wenn die Spiegel in einem Bereich bis etwa 60° drehbar sind. Eine weiterreichende Drehbarkeit ist entsprechend der konkret gewählten Anordnung meist nicht erforderlich.

Wie bereits eingangs ausgeführt, treten auch bei der hier vorgeschlagenen Anordnung hyperbolische Verzeichnungen bei der Abbildung auf. In vorteilhafter Weise sind diese hyperbolischen Verzeichnungen in Abhängigkeit von der y-Position korrigierbar. Im Konkreten könnte die hyperbolische Verzeichnung durch einen geeigneten y-abhängigen Offset auf den x-Antrieb kompensiert werden, wobei hier zu beachten ist, daß die Polarisierung am oberen und unteren Rand des Bildes um wenige Grad gedreht ist.

Die hyperbolische Verzeichnung könnte auch erst bei der Auswertung des x-Positionssignals berücksichtigt und kompensiert werden. Eine solche Berücksichtigung und Kom-

pensation der hyperbolischen Verzeichnung könnte bspw. nach der Bilddigitalisierung erfolgen.

Es gibt nun verschiedene Möglichkeiten, die Lehre der vorliegenden Erfindung in vorteilhafter Weise auszugestalten und weiterzubilden. Dazu ist einerseits auf die dem Patentanspruch 1 nachgeordneten Ansprüche, andererseits auf die nachfolgende Erläuterung von Ausführungsbeispielen der Erfindung anhand der Zeichnung zu verweisen. In Verbindung mit der Erläuterung der bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung werden auch im allgemeinen bevorzugte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Lehre erläutert. In der Zeichnung zeigt

**Fig. 1** in einer schematischen Darstellung ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfundungsgemäßen optischen Anordnung zum Scannen eines Strahls in zwei im wesentlichen senkrecht zueinander liegenden Achsen, wobei hier insgesamt drei Spiegel vorgesehen sind,

**Fig. 2** die Anordnung aus **Fig. 1**, wobei die Spiegel in einem Gehäuse angeordnet sind,

**Fig. 3** die Anordnung aus **Fig. 2** in einer den Strahlengang und die Drehbewegung der Spiegel schematisch darstellenden Ansicht,

**Fig. 4** die mit der Vorrichtung aus **Fig. 3** realisierbare Abbildung mit Abbildungsfehlern und

**Fig. 5** ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfundungsgemäßen Anordnung mit insgesamt fünf Spiegeln, ähnlich der Darstellung aus **Fig. 1**.

**Fig. 1** zeigt eine optische Anordnung zum Scannen eines Strahls in zwei im wesentlichen senkrecht zueinander liegenden Achsen, wobei sich diese Anordnung insbesondere bei konfokalen Laserscanmikroskopen anwenden lässt. Die Anordnung umfaßt zwei mittels jeweils eines Antriebs um senkrecht zueinander liegende Achsen – x-Achse und y-Achse – drehbare Spiegel 1, 2.

In erfundungsgemäßer Weise ist dem Spiegel 1 ein weiterer Spiegel 2 in einer vorgegebenen Winkelposition drehfest zugeordnet, so daß die einander zugeordneten Spiegel 1, 2 – erster und zweiter Spiegel – gemeinsam um die y-Achse drehen und dabei den Strahl um einen Drehpunkt drehen, der auf der Drehachse – x-Achse des alleine drehenden dritten Spiegels 3 liegt.

Die beiden gemeinsam drehenden Spiegel 1, 2 – erster und zweiter Spiegel – sind dem alleine drehenden dritten Spiegel 3 im Strahlengang vorgeschaltet, wobei der einfallende Strahl 4 auf den ersten Spiegel 1 der beiden einander zugeordneten Spiegel 1, 2 in deren gemeinsamer Drehachse 5 fällt.

Bei dem in den **Fig. 1, 2** und **3** gezeigten Ausführungsbeispiel ist angedeutet, daß die beiden einander zugeordneten Spiegel 1, 2 in einem Gehäuse 6 angeordnet sind. Das Gehäuse 6 dreht um die optische Achse 5 – y-Achse – des einfallenden Strahls 4.

Die **Fig. 1** und **2** zeigen des weiteren, daß das Gehäuse 6 eine Eintrittsöffnung 7 für den einfallenden Strahl 4 aufweist, wobei der Strahl 4 in der Drehachse 5 des Gehäuses 6 auf den ersten Spiegel 1 der beiden einander zugeordneten Spiegel 1, 2 trifft und vom ersten Spiegel 1 aus zum zweiten Spiegel 2 reflektiert wird.

Gemäß der Darstellung in **Fig. 2** weist das Gehäuse eine Ausnehmung 8 auf und ist das Gehäuse 6 dieser Ausnehmung 8 gegenüber offen. Der alleine drehende dritte Spiegel 3 ist vom Gehäuse 6 unabhängig um die x-Achse drehbar in der Ausnehmung 8 angeordnet.

Der auf den alleine drehenden Spiegel 3 fallende Strahl 9 wird von dem dritten Spiegel 3 zurück in das Gehäuse 6 und durch eine Austrittsöffnung 10 aus dem Gehäuse 6 heraus zur Abbildung reflektiert.

Unter Bezugnahme auf **Fig. 1** sei noch einmal angemerkt,

dass die Spiegel 1 und 2 fest mit dem Gehäuse 6 verbunden sind, und zwar in einer vorgegebenen Winkelposition zueinander. Das Gehäuse 6 selbst ist um die optische Achse 5 bzw. y-Achse drehbar. Der dritte Spiegel 3 ist um die x-Achse drehbar, die orthogonal zur optischen Achse 5 ausgebildet ist.

Eine Drehung des Spiegels 3 um die x-Achse rastert demnach das Bild in x-Richtung. Eine Drehung des Gehäuses 6 um die optische Achse 5 rastert das Bild in y-Richtung. Eine gleichzeitige Drehung des Gehäuses 6 um die optische Achse 5 und des Spiegels 3 um die x-Achse rotiert das Bild. Dabei entstehende y-abhängige x-Verschiebungen lassen sich durch einen y-abhängigen Offset korrigieren. Polarisationsdrehungen lassen sich durch y-abhängige Drehungen des Scanners korrigieren.

Abbildungsfehler bzw. hyperbolische Verzeichnungen sind in **Fig. 4** dargestellt, wie sie sich nämlich bei Anwendung einer Anordnung gemäß der **Fig. 1** bis **3** ergeben. Hinsichtlich sonstiger Korrekturmöglichkeiten wird zur Vermeidung von Wiederholungen auf den allgemeinen Teil der Beschreibung verwiesen.

**Fig. 5** zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfundungsgemäßen optischen Anordnung zum Scannen eines Strahls in zwei im wesentlichen senkrecht zueinander liegenden Achsen, wobei den beiden einander in einer vorgegebenen Winkelposition drehfest zugeordneten, gemeinsam um die optische Achse 5 drehenden Spiegeln 1, 2 – erster und zweiter Spiegel – und dem alleine drehenden Spiegel 3 – dritter Spiegel – ein weiteres Spiegelpaar nachgeordnet ist. Dieses weitere Spiegelpaar umfaßt zwei einander in einer vorgegebenen Winkelposition drehfest zugeordnete Spiegel 11, 12, nämlich einen vierten und einen fünften Spiegel.

Die beiden weiteren Spiegel 11, 12 sind in einer um die optische Achse 5 – y-Achse – drehbaren zweiten Gehäuse 13 angeordnet, wobei der alleine um die x-Achse drehbare dritte Spiegel 3 beweglich in dem zweiten Gehäuse 13 angeordnet ist. **Fig. 5** zeigt des weiteren andeutungsweise, daß das erste Gehäuse 6 in dem zweiten Gehäuse 13 angeordnet und mit diesem um die optische Achse 5 drehbar verbunden ist. Der ausfallende Strahl 14 liegt in der optischen Achse 5 des einfallenden Strahls 4, wobei ein beliebiger Winkel des ausfallenden Strahls zur optischen Achse je nach Anforderung realisierbar ist.

Unter Bezugnahme auf **Fig. 5** sei noch einmal angemerkt, daß die Spiegel 1 und 2 fest mit dem Gehäuse 6 verbunden sind, und zwar unter einer vorgegebenen Winkelstellung zueinander. Die Spiegel 11, 12 sind fest mit dem zweiten Gehäuse 13 verbunden. Der um die x-Achse drehbare dritte Spiegel 3 ist um die x-Achse drehbar mit dem zweiten Gehäuse 13 verbunden. Das erste Gehäuse 1 ist in dem zweiten Gehäuse 13 um die optische Achse 5 beweglich angeordnet, wobei das Gehäuse 6 mit dem Gehäuse 13 verbunden ist. Das zweite Gehäuse 13 ist um die optische Achse 5 drehbar, wobei eine Drehung des Spiegels 3 um die x-Achse senkrecht zur optischen Achse 5 eine Rasterung in x-Richtung vornimmt.

Eine Drehung des ersten Gehäuses 6 um die optische Achse 5 führt zu einer Rasterung in y-Richtung. Eine Drehung des zweiten Gehäuses 13 um die optische Achse 5 rotiert das Bild in der Bildmitte. Eine Verkleinerung des Scanwinkels in x- und y-Richtung zoomt das Bild.

Die Spiegelflächen der hier verwendeten Spiegel 1, 2, 11 und 12 sind planar ausgebildet. Hinsichtlich einer gewölbten Ausbildungsmöglichkeit und der damit verbundenen etwaigen Vorteile wird auf den allgemeinen Teil der Beschreibung verwiesen.

Als Antriebe sind hier Galvanometer vorgesehen, wobei es sich bei dem Antrieb um die y-Achse um einen Galvano-

meter 15 und bei dem Antrieb um die x-Achse um einen resonanten Galvanometer 16 handelt. Andere Antriebe sind ebenfalls einsetzbar.

Abschließend sei ganz besonders hervorgehoben, daß die voranstehend erörterten Ausführungsbeispiele zur Verdeutlichung der beanspruchten Lehre dienen, diese jedoch nicht auf die Ausführungsbeispiele einschränken.

## Patentansprüche

1. Optische Anordnung zum Scannen eines Strahls in zwei im wesentlichen senkrecht zueinander liegenden Achsen, insbesondere zur Anwendung bei konfokalen Laserscanmikroskopen, mit zwei mittels jeweils eines Antriebs um senkrecht zueinander liegende Achsen – x-Achse und y-Achse – drehbaren Spiegeln (1, 3), **dadurch gekennzeichnet**, daß einem der beiden Spiegel (1, 3) ein weiterer Spiegel (2) in einer vorgegebenen Winkelposition drehfest zugeordnet ist, so daß die einander zugeordneten Spiegel (1, 2) – erster und zweiter Spiegel – gemeinsam um die y-Achse drehen und dabei den Strahl (4) um einen Drehpunkt drehen, der auf der Drehachse – x-Achse – des alleine drehenden dritten Spiegels (3) liegt.
2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden gemeinsam drehenden Spiegel (1, 2) – erster und zweiter Spiegel – dem alleine drehenden dritten Spiegel (3) im Strahlengang vorgeschaltet sind.
3. Anordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der einfallende Strahl (4) auf den ersten der beiden einander zugeordneten Spiegel (1, 2) in deren gemeinsamer Drehachse (5) – y-Achse – fällt.
4. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden einander zugeordneten Spiegel (1, 2) auf einer drehbaren Aufnahme angeordnet sind.
5. Anordnung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufnahme um die optische Achse (5) – y-Achse – des einfallenden Strahls (4) dreht.
6. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden einander zugeordneten Spiegel (1, 2) in einem Gehäuse (6) angeordnet sind.
7. Anordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Gehäuse (6) um die optische Achse (5) – y-Achse – des einfallenden Strahls (4) dreht.
8. Anordnung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Gehäuse (6) eine Eintrittsöffnung (7) für den einfallenden Strahl (4) aufweist, wobei der Strahl (4) in der Drehachse des Gehäuses (6) auf den ersten der beiden einander zugeordneten Spiegel (1) trifft und zum zweiten Spiegel (2) reflektiert wird.
9. Anordnung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Gehäuse (6) eine Ausnehmung (8) aufweist und dieser gegenüber zumindest teilweise offen ist und daß der alleine drehende dritte Spiegel (3) vom Gehäuse (6) unabhängig drehbar in der Ausnehmung (8) angeordnet ist.
10. Anordnung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der auf den alleine drehenden dritten Spiegel (3) fallende Strahl (9) von diesem in das Gehäuse (6) zurück und durch eine Austrittsöffnung (10) aus dem Gehäuse (6) heraus reflektiert wird.
11. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß den beiden einander in einer vorgegebenen Winkelposition drehfest zugeordneten, gemeinsam um die optische Achse (5) drehen-

den Spiegeln (1, 2) – erster und zweiter Spiegel – und dem alleine drehenden Spiegel (3) – dritter Spiegel – eine weitere Spiegelpaar nachgeordnet ist und daß dieses weitere Spiegelpaar zwei einander in einer vorgegebenen Winkelposition drehfest zugeordnete Spiegel (11, 12) – vierter und fünfter Spiegel – umfaßt.

12. Anordnung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden weiteren Spiegel (11, 12) auf einer um die optische Achse (5) drehenden Aufnahme montiert sind, wobei der alleine um die x-Achse drehbare Spiegel beweglich mit der zweiten Aufnahme verbunden ist.

13. Anordnung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Aufnahme auf der zweiten Aufnahme angeordnet und mit dieser um die optische Achse (5) drehbar verbunden ist.

14. Anordnung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden einander zugeordneten weiteren Spiegel (11, 12) – vierter und fünfter Spiegel – in einem um die optische Achse (5) – y-Achse – drehbaren zweiten Gehäuse (13) angeordnet sind, wobei der alleine um die x-Achse drehbare dritte Spiegel (3) beweglich in dem zweiten Gehäuse (13) angeordnet ist.

15. Anordnung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Gehäuse (6) in dem zweiten Gehäuse (13) angeordnet und mit diesem um die optische Achse (5) drehbar verbunden ist.

16. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß der ausfallende Strahl (14) in der optischen Achse (5) des einfallenden Strahls (4) liegt.

17. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß der ausfallende Strahl (14) unter einem beliebigen Winkel zur optischen Achse (5) des einfallenden Strahls (4) ausgerichtet ist.

18. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Spiegel (1, 2, 3, 11, 12) eine planar ausgebildete Spiegelfläche aufweisen.

19. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Spiegel (1, 2, 3, 11, 12) eine zumindest geringfügig gewölbte Spiegelfläche aufweisen.

20. Anordnung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Wölbung der Spiegelfläche zur Abbildung herangezogen wird.

21. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Antriebe ortsfest angeordnet sind.

22. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß als Antriebe Galvanometer (15) vorgesehen sind.

23. Anordnung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei den Galvanometern um resonante Galvanometer (16) handelt.

24. Anordnung nach Anspruch 22 oder 23, dadurch gekennzeichnet, daß die um die Y-Achse drehenden Spiegel von einem Galvanometer (15) und der um die x-Achse drehende Spiegel von einem resonanten Galvanometer (16) drehangetrieben sind.

25. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß als Antrieb ein Stepper-Motor vorgesehen ist.

26. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Spiegel (1, 2, 3, 11, 12) unter verschiedenen Winkeln drehbar sind, vorzugsweise im Bereich bis etwa 60.

27. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß eine hyperbolische Ver-

zeichnung (17) abhängig von der y-Position korrigierbar ist.

28. Anordnung nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, daß die hyperbolische Verzeichnung (17) durch einen geeigneten y-abhängigen Offset auf dem 5 x-Antrieb kompensierbar ist.

29. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß die hyperbolische Verzeichnung (17) bei der Auswertung des x-Positionssignals berücksichtigt und kompensiert wird. 10

30. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 29, dadurch gekennzeichnet, daß die hyperbolische Verzeichnung (17) nach der Bilddigitalisierung berücksichtigt und kompensiert wird.

15

---

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

---

20

25

30

35

40

45

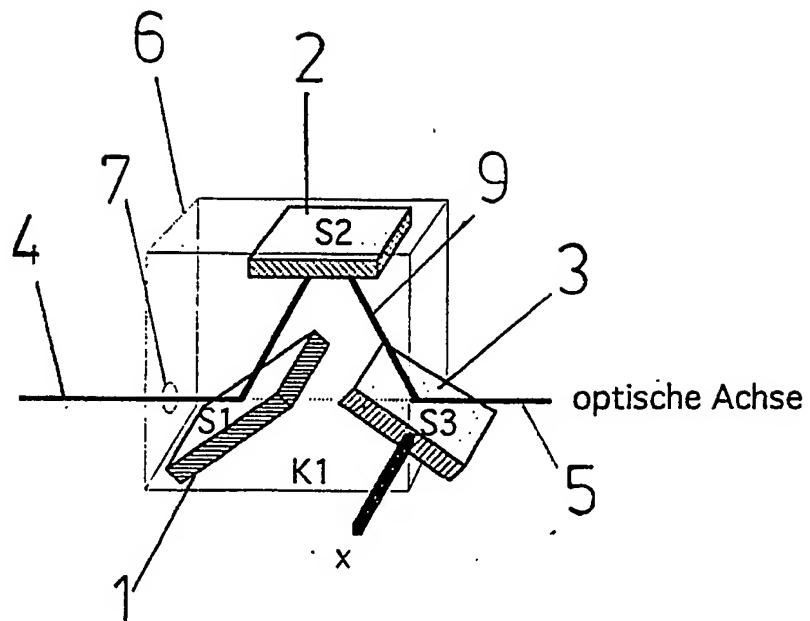
50

55

60

65

**- Leerseite -**



**Fig. 1**

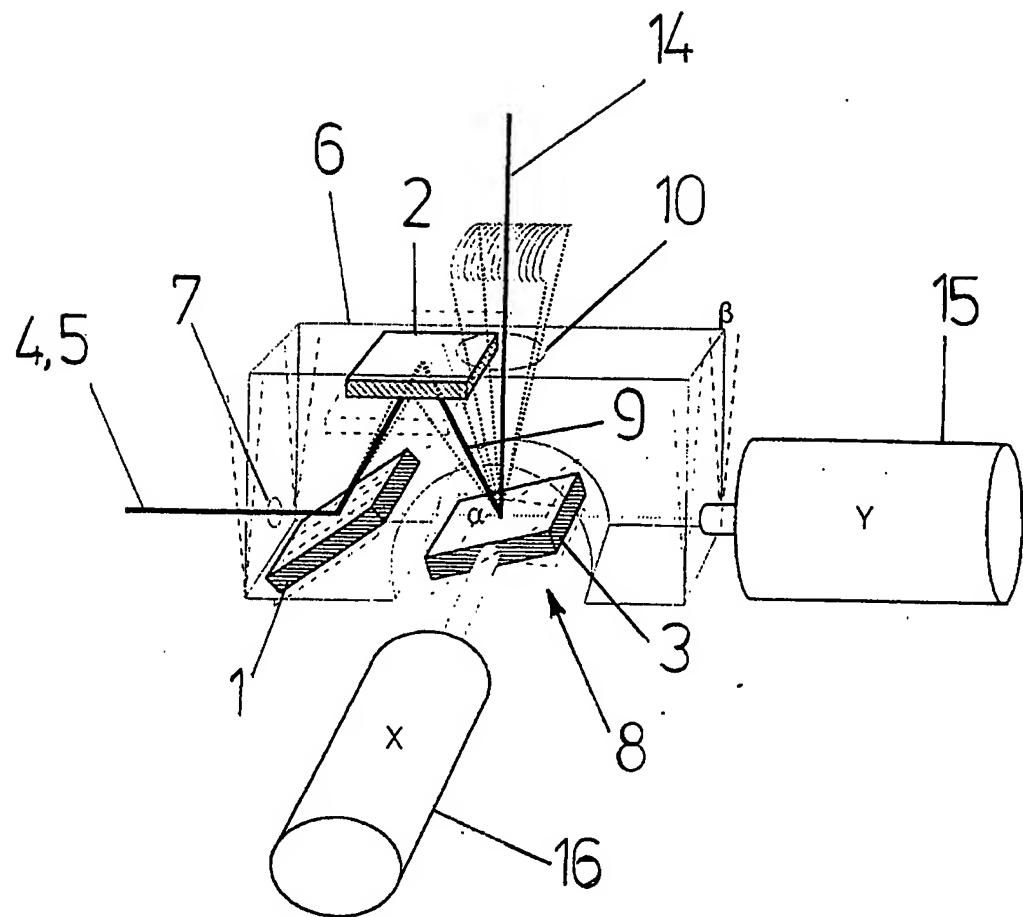
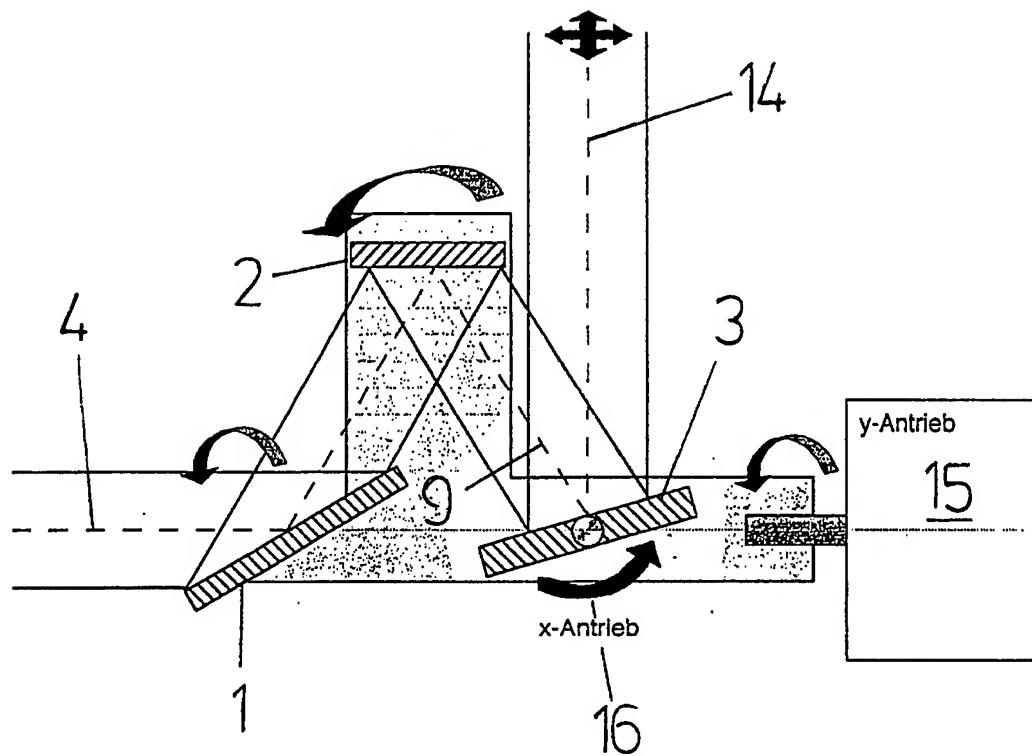
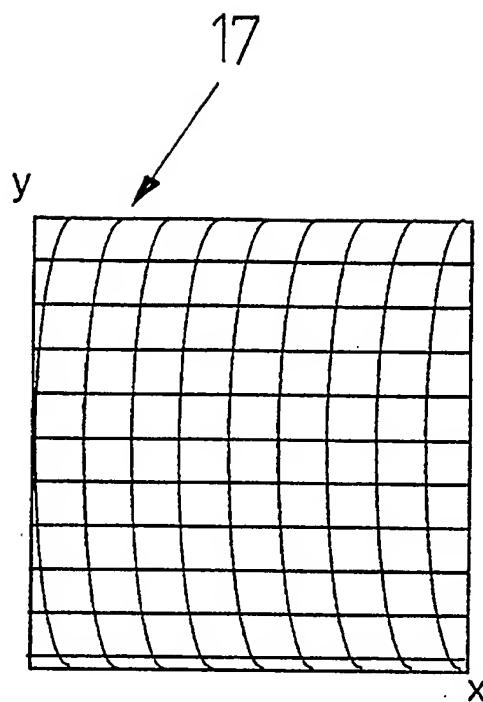


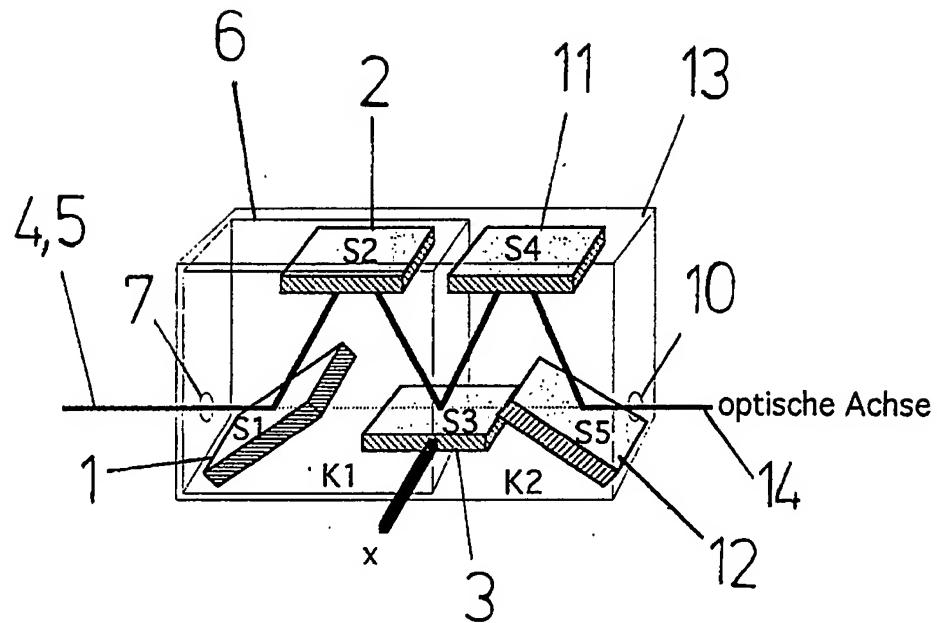
Fig. 2



**Fig. 3**



**Fig. 4**



**Fig. 5**